

PAT-NO: JP410090235A

DOCUMENT-IDENTIFIER: JP 10090235 A

TITLE: METHOD OF JUDGING DETERIORATION OF CONCRETE
STRUCTURE

PUBN-DATE: April 10, 1998

INVENTOR-INFORMATION:

NAME

SHIBATA, TATSUMASA

MORI, DAISUKE

UCHIDA, MASAKATSU

OKAMOTO, YUKIHISA

YUYAMA, SHIGENORI

INT-CL (IPC): G01N029/14, G01M019/00 , G01N003/34 , G01N033/38

ABSTRACT:

PROBLEM TO BE SOLVED: To easily and precisely judge the deterioration of a concrete structure in an optional time by measuring the generating state of acoustic emission(AE) caused when an increasing hysteresis load is added to the concrete structure.

SOLUTION: The load quantity of the first cycle of an increasing hysteresis load to be added to a concrete structure is preferably set to 1-5% of the designed load of the structure since a deforming behavior can not be caused in the structure with less than 1% of the designed load, and the structure itself is apt to be deteriorated by the load with 5% or more. As the loading method, a truck with a maximum carrying capacity of 10t can be run on a bridge at low speed in the case that the structure is the concrete bridge. The increasing hysteresis load may be about 2-3 cycles, and a structure in which AE is generated from the loading of the first cycle and also generated in load removing, and no kayser effect is established on and after the second cycle is judged to be in an advanced stage of deterioration.

COPYRIGHT: (C)1998,JPO

(19)日本国特許庁 (JP)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平10-90235

(43)公開日 平成10年(1998)4月10日

(51)Int.Cl.^a
G 0 1 N 29/14
G 0 1 M 19/00
G 0 1 N 3/34
33/38

識別記号

F I
G 0 1 N 29/14
G 0 1 M 19/00
G 0 1 N 3/34
33/38

Z
C

審査請求 未請求 請求項の数2 FD (全9頁)

(21)出願番号 特願平8-265521

(22)出願日 平成8年(1996)9月13日

(71)出願人 000004190

日本セメント株式会社

東京都千代田区大手町1丁目6番1号

(71)出願人 594078685

日本フィジカルアコースティクス株式会社

東京都渋谷区東2-17-10

(72)発明者 柴田辰正

東京都江東区清澄1-2-23 日本セメント株式会社中央研究所内

(72)発明者 森大介

東京都江東区清澄1-2-23 日本セメント株式会社中央研究所内

(74)代理人 弁理士 岩根正敏

最終頁に続く

(54)【発明の名称】コンクリート構造物の劣化判定方法

(57)【要約】

【課題】コンクリート構造物、特にビル或いは橋のような中・小規模のコンクリート構造物の劣化を、任意の時期に容易にしかも正確に判定できるコンクリート構造物の劣化判定方法を提供すること。

【解決手段】コンクリート構造物にAEセンサーを配設し、該AEセンサーにより、前記コンクリート構造物に漸増履歴荷重を加えた際に生じるAEの発生状況を計測し、このAEの発生状況から、コンクリート構造物の劣化を判定するコンクリート構造物の劣化判定方法とした。

1

2

【特許請求の範囲】

【請求項1】 コンクリート構造物にアコースティック・エミッションセンサーを配設し、該アコースティック・エミッションセンサーにより、前記コンクリート構造物に漸増履歴荷重を加えた際に生じるアコースティック・エミッションの発生状況を計測し、このアコースティック・エミッションの発生状況から、コンクリート構造物の劣化を判定することを特徴とするコンクリート構造物の劣化判定方法。

【請求項2】 上記アコースティック・エミッションの発生状況が、漸増履歴荷重の1サイクル目の載荷からアコースティック・エミッションが発生し、且つ除荷時にもアコースティック・エミッションが発生すると共に、漸増履歴荷重の2サイクル目以降においてカイザー効果が成立しないコンクリート構造物は、劣化が進行していると判定することを特徴とする、請求項1記載のコンクリート構造物の劣化判定方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、コンクリート構造物の劣化判定方法に関し、特にアコースティック・エミッション（以下「AE」と称す）を測定することによってコンクリート構造物の劣化を判定する方法に関するものである。

【0002】

【従来の技術及びその課題】コンクリート構造物、例えばコンクリート橋梁、コンクリート橋脚等は車両の通過による繰り返し荷重を受けること等によりひび割れが発生、或いはひび割れが進展し、劣化が進む。コンクリート構造物に発生するひび割れには、せん断型ひび割れと引っ張り型ひび割れがあり、せん断型ひび割れが多く発生している場合はコンクリート構造物の劣化が進んだ状態であり、早急に補修を行う必要があるとされている。

【0003】ここで、従来においては上記コンクリート構造物の劣化は、長年の経験を有する技術者がコンクリート構造物の表面状態を調査し、その結果から経験に基づいて判定することが一般的に成されていた。そのため、必ずしも正確な判定が成されているとは限らず、補修を必要としない構造物に対して補修を行っている場合も存在し、不経済であった。また、調査は長年の経験を有する者でなければ困難であると共に、その技術経験者の人的作業に依存するものであるため、調査に時間がかかるという課題も存在した。

【0004】一方、近年においては、AEを利用したコンクリート構造物の維持管理システム（特開平5-203631）が開発されている。かかるコンクリート構造物の維持管理システムは、ダム等の大型コンクリート構造物にAEセンサーを配設し、AEを検知してそのカウント数により所定条件下におけるAEの基準発生バ-

ンを求める、所定期間の経過後、或いは定期的に前記所定条件と同様の条件下における前記コンクリート構造物のAEを検知してそのカウント数から新たなAEの発生パターンを求め、該発生パターンを前記基準発生パターンと比較したその異同からコンクリート構造物の異常を判定するコンクリート構造物の維持管理システムである。ここで、上記AEとは、固体の変形及び破壊に伴って開放されるエネルギーが、音響パルスとなって伝播する現象をいい、コンクリート等の多くの材料は、この音響エネルギーを固体中を伝わる微弱な超音波として放出する。

【0005】しかしながら、上記特開平5-203631号公報に記載された技術は、ダム等の大型コンクリート構造物の如く、日常の温度履歴、日照時間、日射量等の周辺の環境変化により変形挙動してAEを発生し、そのAEの発生パターンを計測できるコンクリート構造物に対しては有効であるが、ビル或いは橋のように中・小規模のコンクリート構造物では、日常の温度履歴、日照時間、日射量等の周辺の環境変化による変形挙動は小さく、AEも殆ど発生しないため、このような中・小規模のコンクリート構造物の劣化の判定には利用できないという課題があった。

【0006】また、特開平5-203631号公報に記載された技術は、コンクリート構造物の基準となるAEの発生パターンの計測と、その後の調査時におけるAEの発生パターンの計測との少なくとも2回のAEの計測が必要となり、しかもその2回の計測時におけるコンクリート構造物の周辺環境（温度履歴、日照時間、日射量等）を同一のものとしなければならないため、調査時期が非常に限定されてしまうという課題も存在した。

【0007】本発明は、上述した従来のコンクリート構造物の劣化判定方法が有する課題に鑑み成されたものであって、その目的は、コンクリート構造物、特にビル或いは橋のような中・小規模のコンクリート構造物の劣化を、任意の時期に容易にしかも正確に判定できるコンクリート構造物の劣化判定方法を提供することにある。

【0008】

【課題を解決するための手段】本発明者等は、上記した目的を達成すべく試験・研究を重ねた結果、荷重、特に漸増履歴荷重をコンクリート構造物に故意に加えた際に生じるAEの発生状況が、そのコンクリート構造物の劣化の進行具合により異なることを見いだし、本発明を完成させた。

【0009】即ち、本発明は、コンクリート構造物にAEセンサーを配設し、該AEセンサーにより、前記コンクリート構造物に漸増履歴荷重を加えた際に生じるAEの発生状況を計測し、このAEの発生状況から、コンクリート構造物の劣化を判定するコンクリート構造物の劣化判定方法とした。

【0010】上記した本発明にかかるコンクリート構造

物の劣化判定方法によれば、任意の時期にコンクリート構造物の劣化を判定することができると共に、その判定が漸増履歴荷重を加えた際に生じるAEの発生状況という客観的なデータに基づくものであるため、熟練を要さずしかも正確な判定が可能となる。

【0011】ここで、上記コンクリート構造物に加える漸増履歴荷重の1サイクル目の荷重量としては、該コンクリート構造物の設計荷重の1~5%の荷重量とすることが好ましい。これは、漸増履歴荷重の1サイクル目の荷重量がコンクリート構造物の設計荷重の1%に満たない荷重量である場合には、該コンクリート構造物に変形挙動を起こさせることはできず、AEの発生状況を計測することができないためであり、また設計荷重の5%を越える荷重を漸増履歴荷重の1サイクル目から加えると、劣化の調査のために加える上記漸増履歴荷重によってコンクリート構造物自体が劣化する憂いがあるためである。

【0012】なお、上記漸増履歴荷重のコンクリート構造物への載荷の方法としては、例えばコンクリート構造物が橋である場合には、該橋上を最大積載量10tのトラックを低速(10km/hr程度)で走らせる方法が挙げられる。この場合、1サイクル目としては荷物を積んでいない状態でトラックを走らせ、2サイクル目としては2tの荷物を積んだ状態でトラックを走らせるというように、トラックへの積載量を増やすことで漸増履歴荷重を橋に加えることができる。また、コンクリート構造物へ加える上記漸増履歴荷重のサイクルは、2~3サイクル程度で良い。

【0013】また、上記コンクリート構造物に漸増履歴荷重を加えた際に生じるAEの発生状況が、漸増履歴荷重の1サイクル目の載荷からAEが発生し、且つ除荷時にもAEが発生すると共に、漸増履歴荷重の2サイクル*

セメント：日本セメント株式会社製 早強ポルトランドセメント

細骨材：青梅産砕砂

粗骨材：青梅産砕石

減水剤：花王株式会社製 マイティ150

水：水道水

$10 \times 10 \times 40\text{ cm}$ の型枠内に、直径10mmの鉄筋を鉄筋比が1.0%となるように配筋し、上記調整したコンクリートを流し込み、28日間 20°C で温潤養生し、 $10 \times 10 \times 40\text{ cm}$ の鉄筋コンクリート試験体を作製した。この鉄筋コンクリート試験体の圧縮強度は、 44 N/mm^2 であった。

(2) 鉄筋コンクリート試験体へのAEセンサー等の設置

上記作製した鉄筋コンクリート試験体の図1(a)~(d)に示す位置に、AEセンサー(米国 フィジカルアコースティクスコーポレーション製: R15150Hz共振型)、コンクリート用ストレインゲージ(株式会社東京測器研究所製: PL-30-11)、バイゲージ※50

*目以降においてカイザー効果が成立しないコンクリート構造物は、劣化が進行していると判定する。これは、本件発明者が試験・研究を重ねた結果、上記のようなAEの発生状況にあるコンクリート構造物は、構造的に塑性範囲にあり、その構造物にはせん断型ひび割れが多く発生していることが判明したためである。なお、上記カイザー効果とは、材料に一度荷重を負荷すると除荷した後に同じレベルまでの荷重を再負荷しても殆どAEの発生が見られない現象をいう。

【0014】さらに、上記コンクリート構造物に設置するAEセンサーとしては、150kHz以下の低周波数共振型のものを用い、その設置間隔は、15kHz以下の共振型のものでは5m以内、15~60kHzの範囲の共振型のものでは2m以内、そして60~150kHzの範囲の共振型のものでは1m以内とすることが好ましい。また、AEセンサーは、プリアンプ、AE計測装置及びAE波形解析装置等と接続し、コンクリート構造物に漸増履歴荷重を加えた際に発生するAEの振幅値及び累積ヒット数を計測するものとする。

【0015】

【試験例】以下、上記した本発明にかかるコンクリート構造物の劣化判定方法を見いだすに至った試験例に付き説明する。

【0016】【試験例1】劣化していない鉄筋コンクリート試験体に漸増履歴荷重を加えた場合の力学的挙動とAEの発生状況との関係

【0017】-試験方法-

(1) 鉄筋コンクリート試験体の作製

以下に示す材料を使用し、水/セメント比5.0%、細骨材率4.5%、減水剤/セメント比0.8%の条件で、スランプ8cmのコンクリートを調整した。

※(株式会社東京測器研究所製: PI-2)及び変位計(株式会社東京測器研究所製: CDP-50)を各々設置した。なお、AEの振幅値及び累積ヒット数は、AE計測装置(米国 フィジカルアコースティクスコーポレーション製: SPARTAN 2000)を用いて測定した。

(3) 鉄筋コンクリート試験体への漸増履歴荷重の載荷

鉄筋コンクリート試験体への漸増履歴荷重の載荷方法は、3等分点2線載荷(緯応力の増加速度; 每分0.5N/mm²)とし、繰り返し曲げ載荷・除荷を行った。なお、載荷は疲労試験機(株式会社島津製作所製: サーボバルサ4880)を用いて行った。

【0018】-試験結果-

漸増履歴荷重と発生したAEの振幅値の関係を図2

(a)に、漸増履歴荷重と発生したAEの累積ヒット数の関係を図2 (b)に、漸増履歴荷重とたわみの関係を図2 (c)に各々示す。上記試験結果から、

① 1サイクル目において、載荷直後からAEが発生する。そして除荷時にはAEは発生しない。

② 2サイクル目及び3サイクル目において、載荷時はそれ以前のサイクルの荷重に達するまではAEは発生せず、カイザー効果が成立する。また除荷時にはAEは発生しない。

③ 4サイクル目においてもカイザー効果が成立する。しかし、除荷時にAEが発生する。

④ 5サイクル目にはカイザー効果が成立せず、載荷直後からAEが発生する。また、除荷時にもAEが発生する。

⑤ 6サイクル目にもカイザー効果が成立せず、載荷直後からAEが発生する。

⑥ 除荷時にAEが発生し、カイザー効果が成立しなくなる荷重(4サイクル目の40KN)と、鉄筋コンクリート試験体が構造的に弹性範囲から塑性範囲に変わる荷重(図2(c)においてたわみ曲線の傾斜が変化する40KN)とが一致する。ことが分かった。また、上記試験により得られたAEのモーメントテンソル解析を行い、鉄筋コンクリート試験体に発生したひび割れの種類を解析した結果、弹性範囲の鉄筋コンクリート試験体(4サイクル目の40KNの荷重を加える前の鉄筋コンクリート試験体)には引っ張り型ひび割れが多く発生し、塑性範囲の鉄筋コンクリート試験体(4サイクル目の40KNの荷重を加えた後の鉄筋コンクリート試験体)にはせん断型ひび割れが多く発生していることが分かった。

【0019】[試験例2]僅かに劣化している鉄筋コンクリート試験体に漸増履歴荷重を加えた場合の力学的挙動とAEの発生状況との関係

【0020】-試験方法-

試験例1に記載したと同様の鉄筋コンクリート試験体を作製し、この鉄筋コンクリート試験体に予め10KNの荷重を3回加えた後、上記試験例1と同様の漸増履歴荷重を加えた。

【0021】-試験結果-

漸増履歴荷重と発生したAEの振幅値の関係を図3

(a)に、漸増履歴荷重と発生したAEの累積ヒット数の関係を図3 (b)に、漸増履歴荷重とたわみの関係を図3 (c)に各々示す。上記の試験結果から、

① 1サイクル目において、10KNの荷重に達するまでAEは発生せず、カイザー効果が成立する。

② ①以降は、上記試験例1とほぼ同様の傾向がある。ことが分かった。また、試験例1と同様に上記試験により得られたAEのモーメントテンソル解析を行い、鉄筋

コンクリート試験体に発生したひび割れの種類を解析した結果、弹性範囲の鉄筋コンクリート試験体(4サイクル目の40KNの荷重を加える前の鉄筋コンクリート試験体)には引っ張り型ひび割れが多く発生し、塑性範囲の鉄筋コンクリート試験体(4サイクル目の40KNの荷重を加えた後の鉄筋コンクリート試験体)にはせん断型ひび割れが多く発生していることが分かった。

【0022】[試験例3]ある程度劣化している鉄筋コンクリート試験体に漸増履歴荷重を加えた場合の力学的挙動とAEの発生状況との関係

【0023】-試験方法-

試験例1に記載したと同様の鉄筋コンクリート試験体を作製し、この鉄筋コンクリート試験体に予め20KNの荷重を3回加えた後、試験例1と同様の漸増履歴荷重を加えた。

【0024】-試験結果-

漸増履歴荷重と発生したAEの振幅値の関係を図4
(a)に、漸増履歴荷重と発生したAEの累積ヒット数の関係を図4 (b)に、漸増履歴荷重とたわみの関係を図4 (c)に各々示す。上記の試験結果から、

① 1サイクル目、2サイクル目及び3サイクル目において、20KNの荷重に達するまでAEは発生せず、カイザー効果が成立する。

② ①以降においては、上記試験例1とほぼ同様の傾向がある。ことが分かった。また、上記試験により得られたAEのモーメントテンソル解析を行い、鉄筋コンクリート試験体に発生したひび割れの種類を解析した結果、弹性範囲の鉄筋コンクリート試験体(4サイクル目の40KNの荷重を加える前の鉄筋コンクリート試験体)には引っ張り型ひび割れが多く発生し、塑性範囲の鉄筋コンクリート試験体(4サイクル目の40KNの荷重を加えた後の鉄筋コンクリート試験体)にはせん断型ひび割れが多く発生していることが分かった。

【0025】[試験例4]劣化している鉄筋コンクリート試験体に漸増履歴荷重を加えた場合の力学的挙動とAEの発生状況との関係

【0026】-試験方法-

試験例1に記載したと同様の鉄筋コンクリート試験体を作製し、この鉄筋コンクリート試験体に予め40KNの荷重を3回加えた後、試験例1と同様の漸増履歴荷重を加えた。

【0027】-試験結果-

漸増履歴荷重と発生したAEの振幅値の関係を図5
(a)に、漸増履歴荷重と発生したAEの累積ヒット数の関係を図5 (b)に各々示す。上記の試験結果から、

① 1サイクル目において、載荷直後からAEが発生する。そして除荷時にもAEは発生する。

② 2サイクル目以降、カイザー効果は成立しない。そして除荷時においてもAEは発生する。

③ 鉄筋コンクリート試験体は構造的に塑性範囲にあ

る。ことが分かった。また、AEのモーメントテンソル解析を行い、鉄筋コンクリート試験体に発生したひび割れの種類を解析した結果、鉄筋コンクリート試験体にはせん断型ひび割れが多く発生していることが分かった。

【0028】〔試験例1～4のまとめ〕以上の試験結果から、

① 鉄筋コンクリート試験体が構造的に弾性範囲にあるか塑性範囲にあるかという識別、及び

② せん断型ひび割れが多く発生しているかという識別を、漸増履歴荷重を加えた際のAEの発生状況から判断できることが分かった。

【0029】そして、そのAEの発生状況が、

(1) 1サイクル目の載荷直後からAEが発生し、除荷時にもAEが発生し、且つ2サイクル目においてカイザー効果が成立しない場合(試験例4の場合)は、せん断型ひび割れが多く発生しており、補修が必要な状態と判定することができる。一方、

(2) 上記(1)以外、すなわち、AEの発生状況が、

① 1サイクル目の載荷からAEが発生し、除荷時にAEが発生せず、そして続く2～3サイクル目においてカイザー効果が成立する場合(試験例1)や、

② 1～数サイクル目の載荷途中からAEが発生し、除荷時にAEが発生せず、そして続くサイクルにおいてカイザー効果が成立する場合(試験例2及び3)は、せん断型ひび割れが殆ど発生しておらず、補修の必要がない状態と判定することができる。ことが判明した。

【0030】

【実施例】以下、本発明にかかるコンクリート構造物の劣化判定方法を、実際のコンクリート構造物に適用した実施例に付き説明する。

【0031】〔実施例1〕僅かに劣化したコンクリート橋梁への適用

【0032】-実施方法-

築6年のコンクリート橋梁(幅6m、長さ7m)の下面中央に沿ってAEセンサー(米国 フィジカルアコースティクスコーポレーション製: R15 150Hz共振型)を1m間隔で貼り付け、AE計測装置(米国 フィジカルアコースティクスコーポレーション製: SPARTAN 2000)にてAEの振幅値及び累積ヒット数を測定した。漸増履歴荷重は、1サイクル目として最大積載量10tのトラックを荷物を積んでいない状態(重量; 5t)で10km/hrの速度で走らせ、2サイクル目として前期トラックに2tの砂利を積んだ状態(重量; 7t)で同じく10km/hrの速度で走らせることによりコンクリート橋梁に加えた。

【0033】-実施結果-

漸増履歴荷重と発生したAEの振幅値の関係を図6

(a)に、漸増履歴荷重と発生したAEの累積ヒット数の関係を図6(b)に各々示す。上記の実施結果は、前記試験例2と同じ傾向のAEの発生状況である。即ち、

10 1サイクル目の4t以降の荷重からAEが発生し、除荷時にはAEは発生せず、そして2サイクル目においてカイザー効果が成立していることから、該コンクリート橋梁はせん断型ひび割れが殆ど発生しておらず、まだ補修の必要はない状態であると判定できる。なお、実施により得られたAEのモーメントテンソル解析からも、該コンクリート橋梁に発生しているひび割れは、引っ張り型ひび割れが殆どで、せん断型ひび割れは殆ど発生していないことが確認できた。

【0034】〔実施例2〕劣化したコンクリート橋梁への適用

【0035】-実施方法-

築30年のコンクリート橋梁(幅6m、長さ7.5m)の下面中央に沿ってAEセンサー(米国 フィジカルアコースティクスコーポレーション製: R15 150Hz共振型)を1m間隔で貼り付け、AE計測装置(米国 フィジカルアコースティクスコーポレーション製: SPARTAN 2000)にてAEの振幅値及び累積ヒット数を測定した。漸増履歴荷重は、上記実施例1と同様に1サイクル目として最大積載量10tのトラックを荷物を積んでいない状態(重量; 5t)で10km/hrの速度で走らせ、2サイクル目として前期トラックに2tの砂利を積んだ状態(重量; 7t)で同じく10km/hrの速度で走らせることによりコンクリート橋梁に加えた。

【0036】-実施結果-

漸増履歴荷重と発生したAEの振幅値の関係を図7

(a)に、漸増履歴荷重と発生したAEの累積ヒット数の関係を図7(b)に各々示す。上記の実施結果は、前記試験例4と同じ傾向のAEの発生状況である。即ち、

20 30 1サイクル目の載荷からAEが発生し、除荷時にもAEが発生していると共に、2サイクル目においてカイザー効果が成立していないことから、該コンクリート橋梁はせん断型ひび割れが多く発生しており、補修の必要な状態であると判定できる。なお、実施により得られたAEのモーメントテンソル解析からも、該コンクリート橋梁に発生しているひび割れは、せん断型ひび割れが殆どであることが確認できた。

【0037】

【発明の効果】以上、説明した本発明にかかるコンクリート構造物の劣化判定方法によれば、任意の時期にコンクリート構造物の劣化を判定することができると共に、その判定が漸増履歴荷重を加えた際に生じるAEの発生状況という客観的なデータに基づくものであるため、熟練を要さずしかも正確な判定が可能となり、コンクリート構造物の補修を経済的に行うことができる効果がある。

【図面の簡単な説明】

【図1】試験例1～4において使用した鉄筋コンクリート試験体へのAEセンサー等の設置位置を示した図であり、(a)は鉄筋コンクリート試験体の斜視図、(b)

は鉄筋コンクリート試験体の側面図、(c)は鉄筋コンクリート試験体の平面図、(d)は鉄筋コンクリート試験体の底面図を各々示した図である。

【図2】試験例1の結果を示した図であり、(a)は漸増履歴荷重と発生したAEの振幅値の関係、(b)は漸増履歴荷重と発生したAEの累積ヒット数の関係、

(c)は漸増履歴荷重とたわみの関係を各々示した図である。

【図3】試験例2の結果を示した図であり、(a)は漸増履歴荷重と発生したAEの振幅値の関係、(b)は漸増履歴荷重と発生したAEの累積ヒット数の関係、

(c)は漸増履歴荷重とたわみの関係を各々示した図である。

【図4】試験例3の結果を示した図であり、(a)は漸増履歴荷重と発生したAEの振幅値の関係、(b)は漸

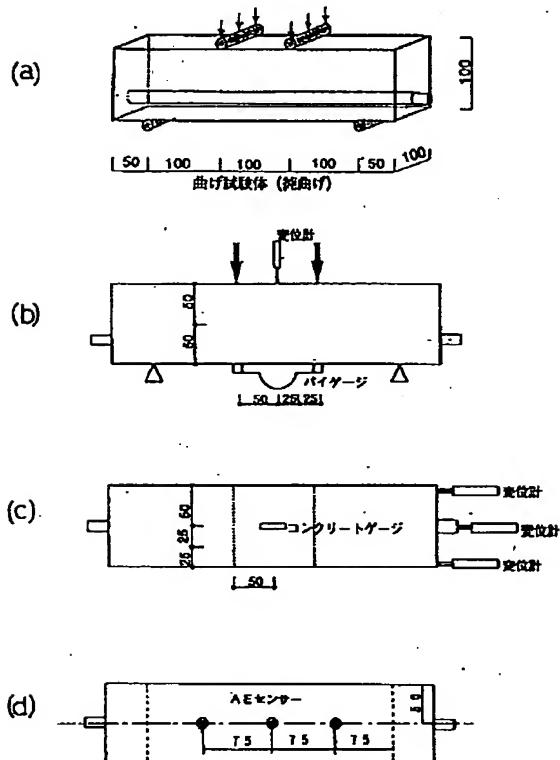
増履歴荷重と発生したAEの累積ヒット数の関係、(c)は漸増履歴荷重とたわみの関係を各々示した図である。

【図5】試験例4の結果を示した図であり、(a)は漸増履歴荷重と発生したAEの振幅値の関係、(b)は漸増履歴荷重と発生したAEの累積ヒット数の関係を各々示した図である。

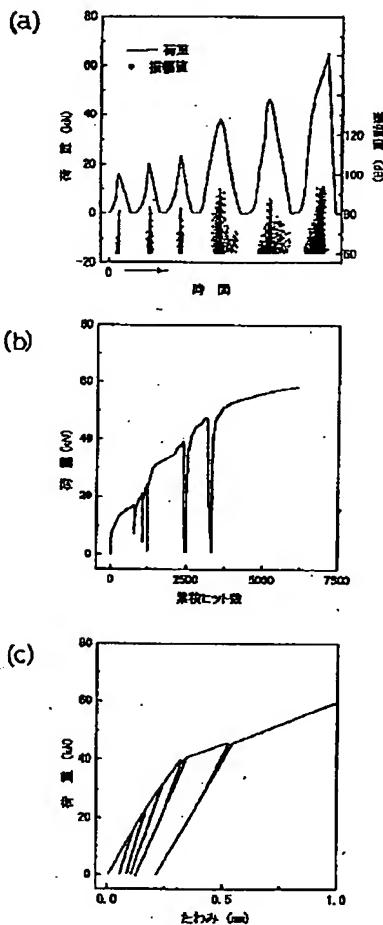
【図6】実施例1の結果を示した図であり、(a)は漸増履歴荷重と発生したAEの振幅値の関係、(b)は漸増履歴荷重と発生したAEの累積ヒット数の関係を各々示した図である。

【図7】実施例2の結果を示した図であり、(a)は漸増履歴荷重と発生したAEの振幅値の関係、(b)は漸増履歴荷重と発生したAEの累積ヒット数の関係を各々示した図である。

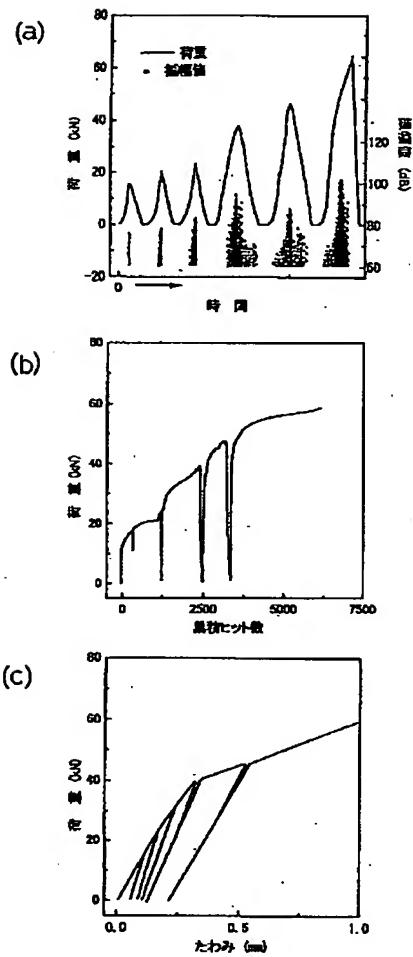
【図1】



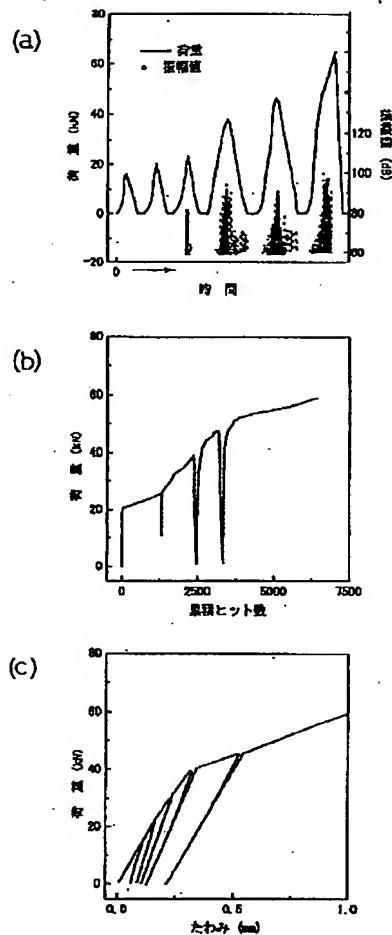
【図2】



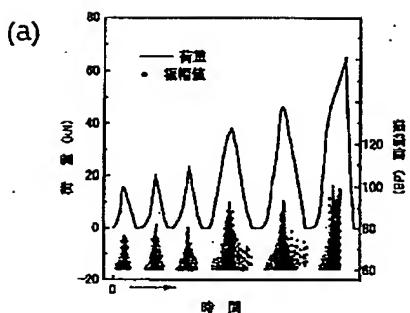
【図3】



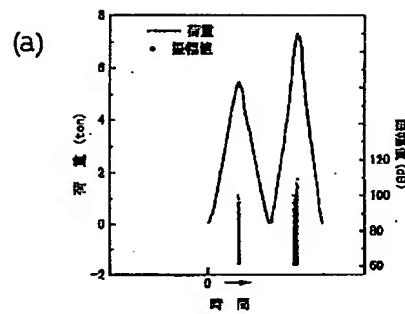
【図4】



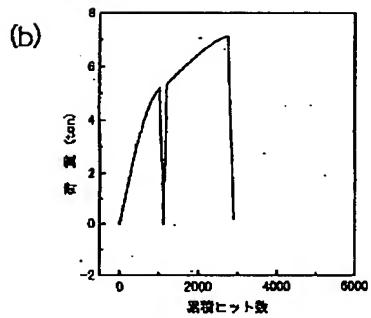
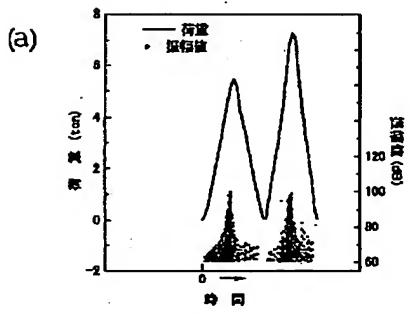
【図5】



【図6】



【図7】



フロントページの続き

(72)発明者 内田 昌勝
東京都江東区清澄1-2-23 日本セメント株式会社中央研究所内

(72)発明者 岡本 享久
東京都江東区清澄1-2-23 日本セメント株式会社中央研究所内

(72)発明者 湯山 茂徳
東京都渋谷区東2-17-10 日本フィジカルアコースティクス株式会社内